



PATENT  
ATTORNEY DOCKET NO.: 046124-5271

THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of: )  
)  
Tadataka EDAMURA, et al. )  
)  
Application No.: 10/776,615 ) Group Art Unit: Unassigned  
)  
Filed: February 12, 2004 ) Examiner: Unassigned

For: QUANTUM CASCADE LASER

Commissioner for Patents  
Arlington, VA 22202

**CLAIM FOR PRIORITY**

Under the provisions of 35 U.S.C. §119, Applicants hereby claims the benefit of the filing date of **Japanese** Patent Application Nos. 2003-035366 filed February 13, 2003 and 2003-274306 filed July 14, 2003 for the above-identified United States Patent Application.

In support of Applicants claim for priority, filed herewith are the certified copies of the Japanese applications.

Respectfully submitted,

**MORGAN, LEWIS & BOCKIUS LLP**

  
\_\_\_\_\_  
John G. Smith  
Reg. No. 33,818

Dated: April 7, 2004

**MORGAN, LEWIS & BOCKIUS LLP**  
1111 Pennsylvania Avenue, N.W.  
Washington, D.C. 20004  
(202)739-3000

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 2月13日  
Date of Application:

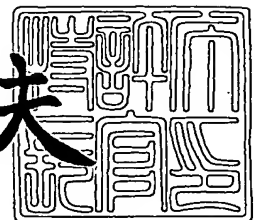
出願番号 特願2003-035366  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 2003-035366]

出願人 浜松ホトニクス株式会社  
Applicant(s):

2003年11月19日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 2003-0065

【提出日】 平成15年 2月13日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 5/34

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

【氏名】 枝村 忠孝

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

【氏名】 秋草 直大

【特許出願人】

【識別番号】 000236436

【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 量子カスケードレーザ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 G s A s からなる半導体基板上に量子井戸発光層及び注入層が交互に積層されたカスケード構造を有し、量子井戸構造でのサブバンド間遷移によって光を生成する活性層と、

前記活性層に対して隣接して形成された導波路コア層と、

前記導波路コア層に対して前記活性層とは反対側で隣接して形成された導波路クラッド層とを備え、

前記導波路コア層は、V族元素としてA s、P、S bの少なくとも1つの元素及びNを含むIII-V族化合物半導体により、前記半導体基板と格子整合するように形成されていることを特徴とする量子カスケードレーザ。

【請求項 2】 I n P からなる半導体基板上に量子井戸発光層及び注入層が交互に積層されたカスケード構造を有し、量子井戸構造でのサブバンド間遷移によって光を生成する活性層と、

前記活性層に対して隣接して形成された導波路コア層と、

前記導波路コア層に対して前記活性層とは反対側で隣接して形成された導波路クラッド層とを備え、

前記導波路コア層は、V族元素としてA s、P、S bの少なくとも1つの元素及びNを含むIII-V族化合物半導体により、前記半導体基板と格子整合するように形成されていることを特徴とする量子カスケードレーザ。

【請求項 3】 前記導波路コア層は、高次の光学モードを導波しないように設定された所定の厚さで形成されていることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の量子カスケードレーザ。

【請求項 4】 前記導波路クラッド層は、V族元素としてA s、P、S bの少なくとも1つの元素及びNを含むIII-V族化合物半導体により形成された高濃度ドーピング層を含むことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか一項記載の量子カスケードレーザ。

【発明の詳細な説明】

**【 0 0 0 1 】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、量子井戸構造でのサブバンド間遷移を利用した量子カスケードレーザに関するものである。

**【 0 0 0 2 】****【従来の技術】**

中赤外の波長領域（例えば波長  $3 \sim 10 \mu\text{m}$ ）の光は、医療関連、生体計測、環境計測などの様々な分野において重要視されている。これに伴い、このような波長領域における高性能なコヒーレント光源の必要性が高まってきている。

**【 0 0 0 3 】**

しかしながら、通常バンド間遷移を利用したレーザ光源は、中赤外領域では低温でしか動作せず、室温での動作、連続（CW）発振動作、あるいは高出力動作等が可能なレーザ光源は実現されていない。このため、赤外領域でのコヒーレント光源として従来から用いられている炭酸ガスレーザや、波長変換光学結晶を用いた固体レーザ、大型施設を伴う自由電子レーザなどに代わる、高性能なレーザ光源の実現が望まれている（例えば、非特許文献 1 参照）。

**【 0 0 0 4 】****【非特許文献 1】**

C.Sirtori et al., "Low-loss Al-free waveguides for unipolar semiconductor lasers", Appl. Phys. Lett. vol.75 (1999) pp.3911-3913.

**【 0 0 0 5 】****【発明が解決しようとする課題】**

近年、半導体材料を用いた赤外発光素子として、量子カスケードレーザの開発が進められている。量子カスケードレーザは、量子井戸構造でのサブバンド間遷移を利用して光を生成するレーザ光源であり、原理的には波長  $3 \sim 70 \mu\text{m}$  程度の波長領域の光を生成することが可能である。

**【 0 0 0 6 】**

また、量子カスケードレーザでは、量子井戸発光層が多段に設けられたカスケード構造によって高出力化が可能となっており、さらに、周波数応答が高速で超

短パルス光の発生が可能であること、緩和振動がないこと、多重波長発振や広帯域発振が可能であることなど、赤外コヒーレント光源として大きな潜在能力を秘めている。例えば、非特許文献1には、基板の半導体材料としてGaAsを用いたAlGaAs/GaAs系の量子カスケードレーザ（GaAs-QCL）について、温度77K、波長9 $\mu$ mでのレーザ発振が報告されている。

#### 【0007】

このような赤外レーザ光源としての量子カスケードレーザにおいては、生成される赤外光が長波長であるため、レーザ内での導波路損失等による光の損失が問題となる。すなわち、赤外光が導波されるレーザ内の導波路構造では、以下の式に示す吸収係数 $\alpha$ で光の自由キャリア吸収が発生する。

#### 【0008】

$$\alpha = N e^2 \lambda^2 / (\pi n c^3 m^* \tau)$$

この式において、Nはキャリア密度、eは単位電荷、 $\lambda$ は光の波長、nは屈折率、cは光速、 $m^*$ は導波路内での電子の有効質量、 $\tau$ は緩和時間である。

#### 【0009】

この式からわかるように、レーザ内の導波路構造において発生する自由キャリア吸収は、光の波長 $\lambda$ の2乗に比例して増大する。したがって、長波長の赤外光を生成する量子カスケードレーザでは、生成された光に対するレーザ内での自由キャリア吸収による導波路損失が問題となる。

#### 【0010】

本発明は、以上の問題点を解決するためになされたものであり、生成された光に対するレーザ内での導波路損失が低減される量子カスケードレーザを提供することを目的とする。

#### 【0011】

##### 【課題を解決するための手段】

このような目的を達成するために、本発明による量子カスケードレーザは、（1）GaAsからなる半導体基板上に量子井戸発光層及び注入層が交互に積層されたカスケード構造を有し、量子井戸構造でのサブバンド間遷移によって光を生成する活性層と、（2）活性層に対して隣接して形成された導波路コア層と、（

3) 導波路コア層に対して活性層とは反対側で隣接して形成された導波路クラッド層とを備え、(4) 導波路コア層は、V族元素としてAs、P、Sbの少なくとも1つの元素及びNを含むIII-V族化合物半導体により、半導体基板と格子整合するように形成されていることを特徴とする。

#### 【0012】

あるいは、本発明による量子カスケードレーザは、(1) InPからなる半導体基板上に量子井戸発光層及び注入層が交互に積層されたカスケード構造を有し、量子井戸構造でのサブバンド間遷移によって光を生成する活性層と、(2) 活性層に対して隣接して形成された導波路コア層と、(3) 導波路コア層に対して活性層とは反対側で隣接して形成された導波路クラッド層とを備え、(4) 導波路コア層は、V族元素としてAs、P、Sbの少なくとも1つの元素及びNを含むIII-V族化合物半導体により、半導体基板と格子整合するように形成されていることを特徴とする。

#### 【0013】

上記した量子カスケードレーザでは、注入層を挟んで量子井戸発光層が多段に設けられた活性層に対する導波路構造において、V族元素としてN(窒素)を含むIII-V族化合物半導体を用いて、レーザ内で生成された赤外光などの光が導波される導波路コア層を形成している。

#### 【0014】

このような半導体材料からコア層を形成する構成によれば、生成された光に対するレーザ内での自由キャリア吸収による導波路損失が低減される。また、この導波路構造では、導波路コア層の実効的な屈折率が増大する。これにより、光閉じ込めに必要な導波路コア層及びクラッド層の厚さを薄くすることができる。

#### 【0015】

また、導波路コア層は、高次の光学モードを導波しないように設定された所定の厚さで形成されていることを特徴とする。これにより、レーザ内で生成された光を良好に導波させて出力することができる。

#### 【0016】

また、導波路クラッド層は、V族元素としてAs、P、Sbの少なくとも1つ



の元素及びNを含むIII-V族化合物半導体により形成された高濃度ドーピング層を含むことが好ましい。これにより、レーザ内で生成された光がプラズモンモードへと漏洩することが抑制される。

#### 【0017】

#### 【発明の実施の形態】

以下、図面とともに本発明による量子カスケードレーザの好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

#### 【0018】

図1は、本発明による量子カスケードレーザの第1実施形態の構成を示す側面断面図である。図1に示したレーザ1は、基板の半導体材料としてGaAsを用いたAlGaAs/GaAs系の量子カスケードレーザ(GaAs-QCL)である。

#### 【0019】

量子カスケードレーザ1は、GaAs基板(半導体基板)10と、GaAs基板10上に形成された活性層11、導波路コア層12、14、及び導波路クラッド層13、15の各半導体層とを備えて構成されている。また、量子カスケードレーザ1の側面のうち、対向している所定の2面には、本レーザ1での光共振器を構成する鏡面(図示していない)が形成されている。

#### 【0020】

活性層11は、GaAs基板10上に形成され、量子井戸構造でのサブバンド間遷移を利用して所定波長の光(例えば中赤外の波長領域内にある光)を生成する半導体層である。本実施形態においては、上記したように、半導体基板としてGaAs基板10が用いられていることに対応して、量子井戸層にGaAsを用い、量子障壁層にAlGaAsを用いたAlGaAs/GaAs多重量子井戸構造によって活性層11が構成されている。

#### 【0021】

具体的には、活性層11は、量子井戸発光層(量子井戸活性層)及び注入層が

交互に積層されることにより、量子井戸発光層が多段に設けられたカスケード構造を有して形成されている。量子井戸発光層及び注入層の積層数は適宜設定されるが、例えば数百程度である。

#### 【0022】

図2は、活性層のカスケード構造、及び量子井戸構造でのサブバンド間遷移について示す図である。なお、図2においては、説明のため、活性層11を構成している量子井戸発光層及び注入層による積層構造のうち、2層の量子井戸発光層102、104、及び発光層102、104に挟まれた1層の注入層103の3層について、そのカスケード構造を示している。

#### 【0023】

図2に示すように、量子井戸発光層102、104は、量子井戸層110と量子障壁層111とから構成されている。発光層102、104では、これらの量子井戸層110及び量子障壁層111により、量子準位 $n=1, 2, 3$ が形成されている。

#### 【0024】

また、発光層102、104の間には、注入層103が設けられている。この注入層103は、量子井戸層112と量子障壁層113とから構成されており、量子井戸層112の幅が発光層102から発光層104へと向かう方向に沿って狭くなっていくように形成されている。

#### 【0025】

このような伝導帯量子準位構造の活性層11を有する量子カスケードレーザ1にバイアス電圧を印加すると、電子101が発光層102の $n=3$ の量子準位に選択的に注入される。 $n=3$ の量子準位に注入された電子101は $n=2$ の量子準位へと遷移し、このとき、 $n=2$ 及び3の量子準位間のエネルギー準位差に相当する波長の光 $h\nu$ が生成される。

#### 【0026】

また、 $n=2$ の量子準位へと遷移した電子101は、 $n=2$ の量子準位から注入層103を通過して発光層104の $n=3$ の量子準位に選択的に注入される。そして、この電子101は、発光層104において $n=3$ の量子準位から $n=2$

の量子準位へと遷移する。このとき、 $n = 2$  及び  $3$  の量子準位間のエネルギー準位差に相当する波長の光  $h\nu$  が生成される。

#### 【0027】

例えば、 $n = 3$  の量子準位と  $n = 2$  の量子準位との間のエネルギーギャップがいずれも  $300\text{ meV}$  程度である場合、発光層 102、104 においてそれぞれ生成される光  $h\nu$  の波長は、中赤外の波長領域となる。そして、このような波長の光がレーザ 1 の光共振器により共振されて、所定波長のレーザ光として出力される。さらに、このような量子井戸発光層及び注入層を多数交互に積層することにより、電子は量子井戸発光層をカスケード的に次々に移動するとともに、各発光層でのサブバンド間遷移の際に光  $h\nu$  が生成される。

#### 【0028】

図 2 に示したカスケード構造を有する活性層 11 に対し、活性層 11 において生成された光がレーザ 1 内で導波される導波路構造として、低濃度ドープ層である  $n$  型の導波路コア層 12、14、及び高濃度ドープ層である  $n^{++}$  型の導波路クラッド層 13、15 が設けられている。

#### 【0029】

活性層 11 からみて  $\text{GaAs}$  基板 10 側（図中の下側）には、活性層 11 側から順に導波路コア層 12、及び導波路クラッド層 13 が形成されている。導波路コア層 12 は、 $n$  型の  $\text{GaInNAs}$  層からなる半導体層であり、活性層 11 に対して隣接するとともに、 $\text{GaAs}$  基板 10 と格子整合するように形成されている。

#### 【0030】

導波路クラッド層 13 は、 $n^{++}$  型の  $\text{GaAs}$  層からなる半導体層であり、導波路コア層 12 に対して活性層 11 とは反対側で隣接して形成されている。このような構成において、導波路コア層 12 の屈折率は、隣接する活性層 11、及び導波路クラッド層 13 よりも高くなっている。これにより、コア層 12 及びクラッド層 13 からなる導波路構造が構成されている。

#### 【0031】

また、活性層 11 からみて  $\text{GaAs}$  基板 10 の反対側（図中の上側）には、活

性層 11 側から順に導波路コア層 14、及び導波路クラッド層 15 が形成されている。導波路コア層 14 は、n 型の GaInNAs 層からなる半導体層であり、活性層 11 に対して隣接するとともに、GaAs 基板 10 と格子整合するように形成されている。

#### 【0032】

導波路クラッド層 15 は、n<sup>++</sup>型の GaAs 層からなる半導体層であり、導波路コア層 14 に対して活性層 11 とは反対側で隣接して形成されている。このような構成において、導波路コア層 14 の屈折率は、隣接する活性層 11、及び導波路クラッド層 15 よりも高くなっている。これにより、コア層 14 及びクラッド層 15 からなる導波路構造が構成されている。

#### 【0033】

導波路クラッド層 15 の上側には、さらに、コンタクト層 16 が形成されている。以上により、GaAs 基板 10 上に、n<sup>++</sup>型 GaAs クラッド層 13、n 型 GaInNAs コア層 12、AlGaAs/GaAs 活性層 11、n 型 GaInNAs コア層 14、n<sup>++</sup>型 GaAs クラッド層 15、及びコンタクト層 16 が順に積層された量子カスケードレーザ 1 が構成される。各半導体層の典型的な厚さ、及びキャリア濃度は以下の通りである。

#### 【0034】

【表 1】

	厚さ	キャリア濃度
n <sup>++</sup> 型 GaAs 導波路クラッド層 15	1 μm	n = 6 × 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>
n 型 GaInNAs 導波路コア層 14	2.20 μm	n = 4 × 10 <sup>16</sup> cm <sup>-3</sup>
AlGaAs/GaAs 活性層 11	1.63 μm	undoped
n 型 GaInNAs 導波路コア層 12	2.20 μm	n = 4 × 10 <sup>16</sup> cm <sup>-3</sup>
n <sup>++</sup> 型 GaAs 導波路クラッド層 13	1 μm	n = 6 × 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>

#### 【0035】

上記した実施形態による量子カスケードレーザの効果について説明する。

#### 【0036】

図 1 に示した量子カスケードレーザ 1 では、注入層を挟んで量子井戸発光層が

多段に設けられたカスケード構造を有する活性層 11 に対する導波路構造において、V 族元素として N（窒素）を含む III-V 族化合物半導体である GaInNAs を用いて、活性層 11 に隣接してレーザ 1 内で生成された赤外光などの光が導波される導波路コア層 12、14 を形成している。このような半導体材料からコア層 12、14 を形成する構成によれば、生成された光に対するレーザ 1 内の自由キャリア吸収による導波路損失が低減される。

#### 【0037】

図 3 は、従来の量子カスケードレーザの構成の例を示す側面断面図である。図 3 に示したレーザ 9 は、GaAs 基板を用いた AlGaAs/GaAs 系の量子カスケードレーザである。

#### 【0038】

量子カスケードレーザ 9 は、GaAs 基板 90 上に、n<sup>++</sup>型 GaAs クラッド層 93、n 型 GaAs コア層 92、AlGaAs/GaAs 活性層 91、n 型 GaAs コア層 94、n<sup>++</sup>型 GaAs クラッド層 95、及びコンタクト層 96 が順に積層されて構成されている。

#### 【0039】

この量子カスケードレーザ 9 では、図 1 に示した量子カスケードレーザ 1 とは異なり、活性層 91 に対して隣接する導波路コア層 92、94 の半導体材料として、GaAs を用いている。また、各半導体層の典型的な厚さ、及びキャリア濃度は、量子カスケードレーザ 1 に関して表 1 に示したものとほぼ同様であるが、本構成例では、n 型 GaAs コア層 92、94 の厚さは、やや厚い 3.5  $\mu$ m に設定される。

#### 【0040】

このような構成の量子カスケードレーザ 9 では、活性層 91 において生成された光に対する導波路コア層 92、94 内での自由キャリア吸収による導波路損失が問題となり、例えば非特許文献 1 に記載された量子カスケードレーザにおいても、室温連続発振は達成されていない。ここで、レーザ内の導波路構造での自由キャリア吸収は、吸収係数  $\alpha$  の式に示されているように、導波路内での電子の有効質量に反比例して小さくなる。したがって、自由キャリア吸収による導波路損

失を低減するには、電子の有効質量が大きくなるような半導体材料を導波路コア層に用いることが好ましい。

#### 【0 0 4 1】

これに対して、図 1 に示した量子カスケードレーザ 1 においては、導波路コア層 1 2、1 4 の半導体材料として、N を含み G a A s と格子整合する G a I n N A s を用いている。G a A s を用いた導波路コア層、及び N の添加量が 1 . 5 % の G a I n N A s を用いた導波路コア層における電子の有効質量、及び光の吸収係数を表 2 に示す。

#### 【0 0 4 2】

【表 2】

	GaAs	GaInNAs, N=1.5%
有効質量	$0.067 \times m_0$	$0.097 \times m_0$
吸収係数	1 (Unity)	0.69

#### 【0 0 4 3】

ここで、 $m_0$  は自由電子の質量を示している。また、吸収係数は、G a A s を用いた導波路コア層での吸収係数を 1 として示している。この表 2 に示されているように、G a A s 基板を用いた G a A s - Q C L における導波路コア層の半導体材料として、N を含む III - V 族化合物半導体を用いる構成によれば、導波路内での電子の有効質量が大きくなる。

#### 【0 0 4 4】

このとき、導波路コア層における自由キャリア吸収が小さくなり、レーザ内で生成される光に対する導波路損失が低減される。N の添加量を 1 . 5 % とした表 2 に示す例においては、G a I n N A s 導波路コア層では、従来の G a A s 導波路コア層に比べて、自由キャリア吸収による光の吸収係数が 0 . 6 9 倍まで低減されている。

#### 【0 0 4 5】

また、赤外光などを生成する量子カスケードレーザでは、生成される光が長波長であるためレーザ内での光閉じ込めが難しく、十分な光閉じ込め効果を得るために導波路コア層及びクラッド層を厚くする必要があることが指摘されている。

しかしながら、このように導波路層を厚くした場合、レーザ素子の直列抵抗が増大してしまう。この直列抵抗の増大は、しばしば冷却が必要とされる赤外半導体レーザにおいて特に問題となる。

#### 【 0 0 4 6 】

これに対して、図 1 に示した量子カスケードレーザ 1 での導波路コア層 1 2、1 4 に用いられている N を含む G a I n N A s は、G a A s よりも屈折率の大きい半導体材料である。G a A s を用いた導波路コア層、及び N の添加量が 1. 5 % の G a I n N A s を用いた導波路コア層における屈折率、及び十分な光閉じ込めに必要な厚さ (  $\mu$  m ) を表 3 に示す。

#### 【 0 0 4 7 】

【表 3】

	GaAs	GaInNAs, N=1.5%
屈折率	3.265	3.45
必要な厚さ ( $\mu$ m )	3.50	2.20

#### 【 0 0 4 8 】

この表 3 に示されているように、従来、G a A s - Q C L での導波路コア層に用いられていた G a A s を G a I n N A s に置き換えることにより、コア層の実効的な屈折率が増大する。したがって、十分な光閉じ込めに必要な導波路コア層及びクラッド層の厚さを薄くすることが可能となる。N の添加量を 1. 5 % とした表 3 に示す例においては、G a I n N A s 導波路コア層では、従来の G a A s 導波路コア層に比べて、コア層の厚さが 0. 6 3 倍まで低減されている。また、このようにコア層の厚さが低減されることにより、レーザ素子の直列抵抗が低減される。

#### 【 0 0 4 9 】

このような導波路コア層 1 2、1 4 の厚さについては、さらに、高次の光学モードを導波しないように設定された所定の厚さで導波路コア層 1 2、1 4 を形成することが好ましい。これにより、レーザ内で生成された光を良好に導波させて出力することができる。

#### 【 0 0 5 0 】

GaAs 基板を用いて構成される量子カスケードレーザに適用される導波路コア層は、一般には、V 族元素として As、P、Sb の少なくとも 1 つの元素、及び N を含む III-V 族化合物半導体により、GaAs 基板と格子整合するように形成することが好ましい。このような構成により、上述したように、自由キャリア吸収による導波路損失を低減するとともに、光閉じ込めに必要なコア層の厚さを低減することができる。

#### 【0051】

この導波路コア層に用いられる III-V 族化合物半導体への N の添加量については、導波路コア層の特性を好適に保持するため、10% 以下の添加量とすることが好ましい。

#### 【0052】

以上のように、図 1 に示した構成の量子カスケードレーザ 1 によれば、導波路コア層内での自由キャリア吸収が低減され、かつ、導波路コア層を薄くすることが可能となることにより、レーザ素子の温度特性が改善されて、高温（例えば室温）での動作が可能となる。また、導波路コア層が低損失となるので、高出力の量子カスケードレーザが実現される。

#### 【0053】

また、導波路コア層が薄くなることにより、素子抵抗が低減される。これにより、高温での連続（CW）発振も可能となる。さらに、このような効果は、レーザによって生成される光が長波長となるほど増大する。したがって、さらに長波長領域のレーザ光源、例えばテラヘルツ帯での高出力量子カスケードレーザの実現も可能となる。

#### 【0054】

また、図 1 に示した量子カスケードレーザ 1 では、導波路クラッド層 13、15 として、 $n^{++}$  型の高濃度ドーピング層を用いている。このように、高濃度ドーピング層を含んで導波路クラッド層を構成することにより、導波路クラッド層の屈折率の実数部が大幅に低減されて、導波路構造での光閉じ込め効果を向上することができる。また、このような光閉じ込め効果の向上により、金属電極-半導体界面等で発生する高損失な光のプラズモンモードへの漏洩が抑制される。



## 【0055】

図1に示した構成を有する量子カスケードレーザ1は、例えば、ガスソースMBE (Molecular Beam Epitaxy) 法を用いて作製することができる。この方法では、GaAs基板10上に、 $n^{++}$ 型GaAsクラッド層13、GaAs基板10に格子整合するn型GaInNASコア層12、量子井戸発光層及び注入層が積層されたAlGaAs/GaAs活性層11、GaAs基板10に格子整合するn型GaInNASコア層14、及び $n^{++}$ 型GaAsクラッド層15を順次成長させて、量子カスケードレーザ1での積層構造を形成する。

## 【0056】

ここで、GaAs層及びAlGaAs層は従来の成長温度、すなわち600℃前後で成長すれば良いが、GaInNAS層については、Inの相分離を考慮に入れて450℃程度で成長することが好ましい。また、導波路クラッド層13、15となる高濃度ドーピングGaAs層については、例えばSiをドーパントとして形成することができる。

## 【0057】

図4は、本発明による量子カスケードレーザの第2実施形態の構成を示す側面断面図である。図4に示したレーザ2は、図1に示したレーザ1と同様に、GaAs基板を用いたAlGaAs/GaAs系の量子カスケードレーザである。

## 【0058】

量子カスケードレーザ2は、GaAs基板10上に、 $n^{++}$ 型GaInNASクラッド層23、n型GaInNASコア層12、AlGaAs/GaAs活性層11、n型GaInNASコア層14、 $n^{++}$ 型GaInNASクラッド層25、及びコンタクト層16が順に積層されて構成されている。

## 【0059】

この量子カスケードレーザ2は、図1に示した量子カスケードレーザ1とほぼ同様の構成を有している。ただし、導波路コア層12、14に隣接する導波路クラッド層として、 $n^{++}$ 型GaAs層に代えて、 $n^{++}$ 型GaInNAS層23、25を用いている。また、各半導体層の典型的な厚さ、及びキャリア濃度は、量子カスケードレーザ1に関して表1に示したものと同様である。

## 【0060】

このように、導波路クラッド層としては、導波路コア層 12、14 と同様の N を含む III-V 族化合物半導体を半導体材料とした高濃度ドーピング層を用いても良い。ここで、導波路クラッド層における高濃度ドーピング層は、上述したように、導波路構造での光閉じ込め効果の向上、及び光のプラズモンモードへの漏洩の抑制に効果的である。一方で、このような高濃度ドーピング層は、自由キャリア吸収が増大する要因となる場合がある。

## 【0061】

これに対して、GaInNAs などの N を含む半導体材料は、ドーピング量に依存して GaInNAs 層内での電子の有効質量が急激に大きくなる性質を有している。したがって、導波路クラッド層を GaAs 層から GaInNAs 層に置き換えることにより、自由キャリア吸収のさらなる低減が可能である。GaInNAs への高濃度ドーピングは、例えば、Si、Se、Te などのドーパントを用いて達成することができる。

## 【0062】

このような導波路クラッド層としては、一般には、V 族元素として As、P、Sb の少なくとも 1 つの元素、及び N を含む III-V 族化合物半導体によって形成された高濃度ドーピング層を用いることが好ましい。

## 【0063】

図 5 は、本発明による量子カスケードレーザの第 3 実施形態の構成を示す側面断面図である。図 5 に示したレーザ 3 は、基板の半導体材料として InP を用いた InGaAs/InAlAs 系の量子カスケードレーザ (InP-QCL) である。

## 【0064】

量子カスケードレーザ 3 は、InP 基板 (半導体基板) 30 と、InP 基板 30 上に形成された活性層 31、導波路コア層 32、34、及び導波路クラッド層 33、35 の各半導体層とを備えて構成されている。また、量子カスケードレーザ 3 の側面のうち、対向している所定の 2 面には、本レーザ 3 での光共振器を構成する鏡面 (図示していない) が形成されている。

## 【0065】

活性層 31 は、InP 基板 30 上に形成され、量子井戸構造でのサブバンド間遷移を利用して所定波長の光（例えば中赤外の波長領域内にある光）を生成する半導体層である。本実施形態においては、上記したように、半導体基板として InP 基板 30 が用いられていることに対応して、InGaAs/InAlAs 多重量子井戸構造によって活性層 31 が構成されている。

## 【0066】

具体的には、活性層 31 は、量子井戸発光層（量子井戸活性層）及び注入層が交互に積層されることにより、量子井戸発光層が多段に設けられたカスケード構造を有して構成されている。なお、活性層 31 のカスケード構造、及び量子井戸構造でのサブバンド間遷移等については、図 1 に示した量子カスケードレーザ 1 に関して上述したものと同様である。

## 【0067】

カスケード構造を有する活性層 31 に対し、活性層 31 において生成された光がレーザ 3 内で導波される導波路構造として、低濃度ドープ層である n 型の導波路コア層 32、34、及び高濃度ドープ層である n<sup>++</sup>型の導波路クラッド層 33、35 が設けられている。

## 【0068】

活性層 31 からみて InP 基板 30 側（図中の下側）には、活性層 31 側から順に導波路コア層 32、及び導波路クラッド層 33 が形成されている。導波路コア層 32 は、n 型の InNPA s 層からなる半導体層であり、活性層 31 に対して隣接するとともに、InP 基板 30 と格子整合するように形成されている。

## 【0069】

導波路クラッド層 33 は、n<sup>++</sup>型の InAlAs 層からなる半導体層であり、導波路コア層 32 に対して活性層 31 とは反対側で隣接して形成されている。このような構成において、導波路コア層 32 の屈折率は、隣接する活性層 31、及び導波路クラッド層 33 よりも高くなっている。これにより、コア層 32 及びクラッド層 33 からなる導波路構造が構成されている。

## 【0070】

また、活性層 31 からみて InP 基板 30 の反対側（図中の上側）には、活性層 31 側から順に導波路コア層 34、及び導波路クラッド層 35 が形成されている。導波路コア層 34 は、n 型の InNPA s 層からなる半導体層であり、活性層 31 に対して隣接するとともに、InP 基板 30 と格子整合するように形成されている。

#### 【0071】

導波路クラッド層 35 は、n<sup>++</sup>型の InAlAs 層からなる半導体層であり、導波路コア層 34 に対して活性層 31 とは反対側で隣接して形成されている。このような構成において、導波路コア層 34 の屈折率は、隣接する活性層 31、及び導波路クラッド層 35 よりも高くなっている。これにより、コア層 34 及びクラッド層 35 からなる導波路構造が構成されている。

#### 【0072】

導波路クラッド層 35 の上側には、さらに、コンタクト層 36 が形成されている。以上により、InP 基板 30 上に、n<sup>++</sup>型 InAlAs クラッド層 33、n 型 InNPA s コア層 32、InGaAs / InAlAs 活性層 31、n 型 InNPA s コア層 34、n<sup>++</sup>型 InAlAs クラッド層 35、及びコンタクト層 36 が順に積層された量子カスケードレーザ 3 が構成される。各半導体層の典型的な厚さ、及びキャリア濃度は、量子カスケードレーザ 1 に関して表 1 に示したものと同様である。

#### 【0073】

上記した実施形態による量子カスケードレーザの効果について説明する。

#### 【0074】

図 5 に示した量子カスケードレーザ 3 では、注入層を挟んで量子井戸発光層が多段に設けられたカスケード構造を有する活性層 31 に対する導波路構造において、V 族元素として N（窒素）を含む III-V 族化合物半導体である InNPA s を用いて、活性層 31 に隣接してレーザ 3 内で生成された赤外光などの光が導波される導波路コア層 32、34 を形成している。このような半導体材料からコア層 32、34 を形成する構成によれば、生成された光に対するレーザ 3 内での自由キャリア吸収による導波路損失が低減される。

## 【0075】

また、従来、InP-QCLでの導波路コア層に用いられていたInGaAsをInNPAsに置き換えることにより、コア層の実効的な屈折率が増大する。したがって、十分な光閉じ込めに必要な導波路コア層及びクラッド層の厚さを薄くすることが可能となる。

## 【0076】

InP基板を用いて構成される量子カスケードレーザに適用される導波路コア層は、一般には、V族元素としてAs、P、Sbの少なくとも1つの元素、及びNを含むIII-V族化合物半導体により、InP基板と格子整合するように形成することが好ましい。このような構成により、上述したように、自由キャリア吸収による導波路損失を低減するとともに、光閉じ込めに必要なコア層の厚さを低減することができる。

## 【0077】

図6は、本発明による量子カスケードレーザの第4実施形態の構成を示す側面断面図である。図6に示したレーザ4は、図5に示したレーザ3と同様に、InP基板を用いたInGaAs/InAlAs系の量子カスケードレーザである。

## 【0078】

量子カスケードレーザ4は、InP基板30上に、n<sup>++</sup>型InNPAsクラッド層43、n型InNPAsコア層32、InGaAs/InAlAs活性層31、n型InNPAsコア層34、n<sup>++</sup>型InNPAsクラッド層45、及びコンタクト層36が順に積層されて構成されている。

## 【0079】

この量子カスケードレーザ4は、図5に示した量子カスケードレーザ3とはほぼ同様の構成を有している。ただし、導波路コア層32、34に隣接する導波路クラッド層として、n<sup>++</sup>型InAlAs層に代えて、n<sup>++</sup>型InNPAs層43、45を用いている。また、各半導体層の典型的な厚さ、及びキャリア濃度は、量子カスケードレーザ1に関して表1に示したものと同様である。

## 【0080】

このように、導波路クラッド層としては、導波路コア層32、34と同様のN

を含むIII-V族化合物半導体を半導体材料とした高濃度ドーピング層を用いても良い。また、導波路クラッド層をInAlAs層からInNPAs層に置き換えることにより、自由キャリア吸収のさらなる低減が可能である。InNPAsへの高濃度ドーピングは、例えば、Si、Se、Teなどのドーパントを用いて達成することができる。

#### 【0081】

このような導波路クラッド層としては、一般には、V族元素としてAs、P、Sbの少なくとも1つの元素、及びNを含むIII-V族化合物半導体によって形成された高濃度ドーピング層を用いることが好ましい。

#### 【0082】

本発明による量子カスケードレーザは、上記した実施形態に限られるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、量子カスケードレーザにおける積層構造の作製方法については、ガスソースMBE法による例を示したが、N（窒素）源をプラズマソースとした固体ソースMBE法、あるいはMOCVD法などを用いて作製しても良い。

#### 【0083】

また、例えば図1に示した量子カスケードレーザ1では、n型GaInNAsコア層12、14はGaAs基板10と格子整合していることが望ましいが、光学的特性が優先されるため、レーザ特性に過度の影響を与えない範囲であれば、ある程度の格子不整合は許容される。

#### 【0084】

また、上記した構成例では、半導体結晶中のNの添加量が1～2%程度と非常に少ない組成領域について示したが、これらの効果はNの添加量を増加させることでさらに顕著に発現されるものである。Nの添加量を増加させた場合、その結晶性に問題を生じる場合があるが、導波路層として用いることが可能な範囲であれば、Nの添加量を増加させても問題はない。

#### 【0085】

##### 【発明の効果】

本発明による量子カスケードレーザは、以上詳細に説明したように、次のよう

な効果を得る。すなわち、GaAsまたはInPからなる半導体基板上に形成され、注入層を挟んで量子井戸発光層が多段に設けられた活性層に対する導波路構造において、V族元素としてNを含むIII-V族化合物半導体を用いて、レーザ内で生成された赤外光などの光が導波される導波路コア層を形成する構成によれば、生成された光に対するレーザ内での自由キャリア吸収による導波路損失が低減される。また、この導波路構造では、導波路コア層の実効的な屈折率が増大する。これにより、光閉じ込めに必要な導波路コア層及びクラッド層の厚さを薄くすることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

量子カスケードレーザの第1実施形態の構成を示す側面断面図である。

##### 【図2】

活性層のカスケード構造、及び量子井戸構造でのサブバンド間遷移について示す図である。

##### 【図3】

従来の量子カスケードレーザの構成の例を示す側面断面図である。

##### 【図4】

量子カスケードレーザの第2実施形態の構成を示す側面断面図である。

##### 【図5】

量子カスケードレーザの第3実施形態の構成を示す側面断面図である。

##### 【図6】

量子カスケードレーザの第4実施形態の構成を示す側面断面図である。

#### 【符号の説明】

1、2…量子カスケードレーザ、10…GaAs基板、11…AlGaAs/GaAs活性層、12、14…n型GaInNAs導波路コア層、13、15…n<sup>++</sup>型GaAs導波路クラッド層、16…コンタクト層、23、25…n<sup>++</sup>型GaInNAs導波路クラッド層、

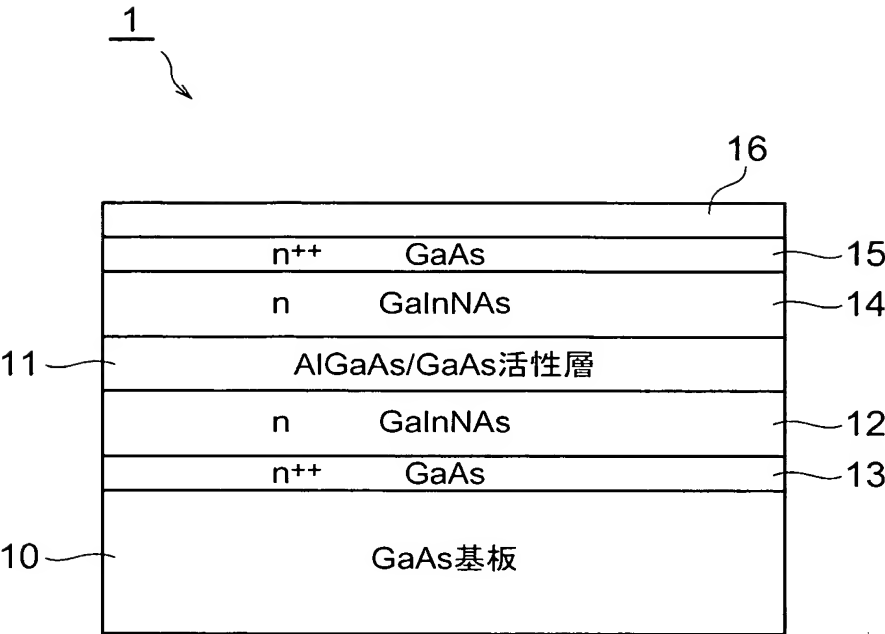
3、4…量子カスケードレーザ、30…InP基板、31…InGaAs/InAlAs活性層、32、34…n型InNPAs導波路コア層、33、35…

$n^{++}$ 型 InAlAs 導波路クラッド層、3 6…コンタクト層、4 3、4 5… $n^{++}$ 型 InNPAs 導波路クラッド層。

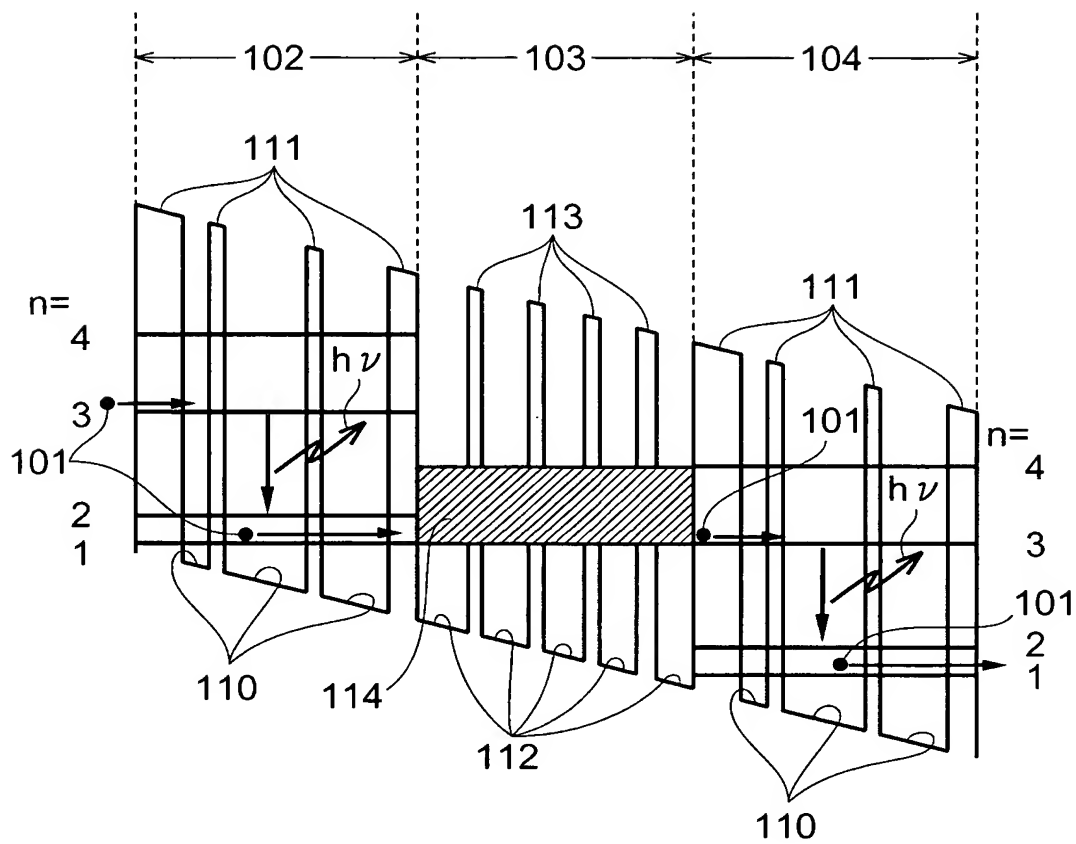


【書類名】 図面

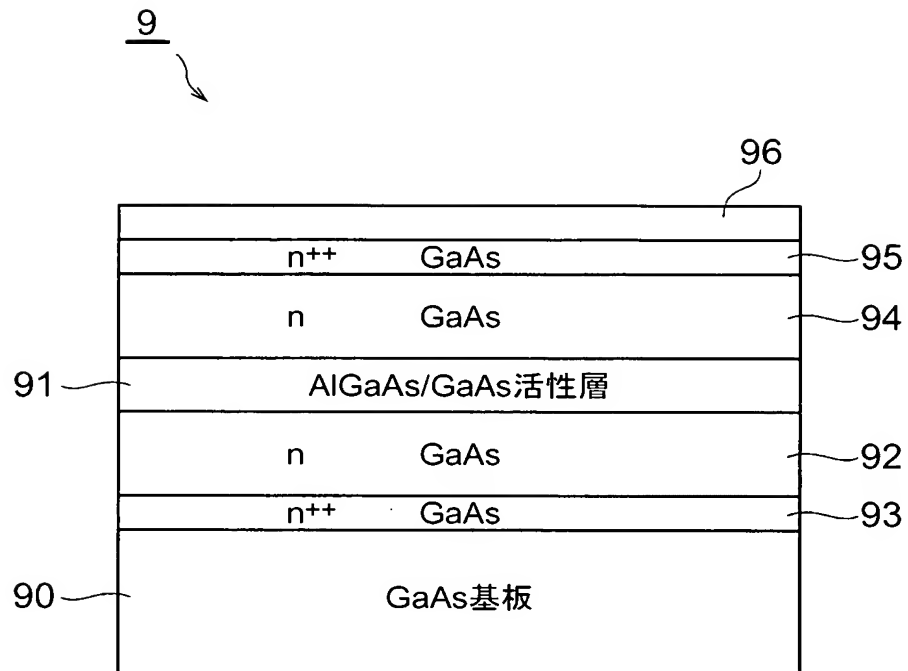
【図 1】



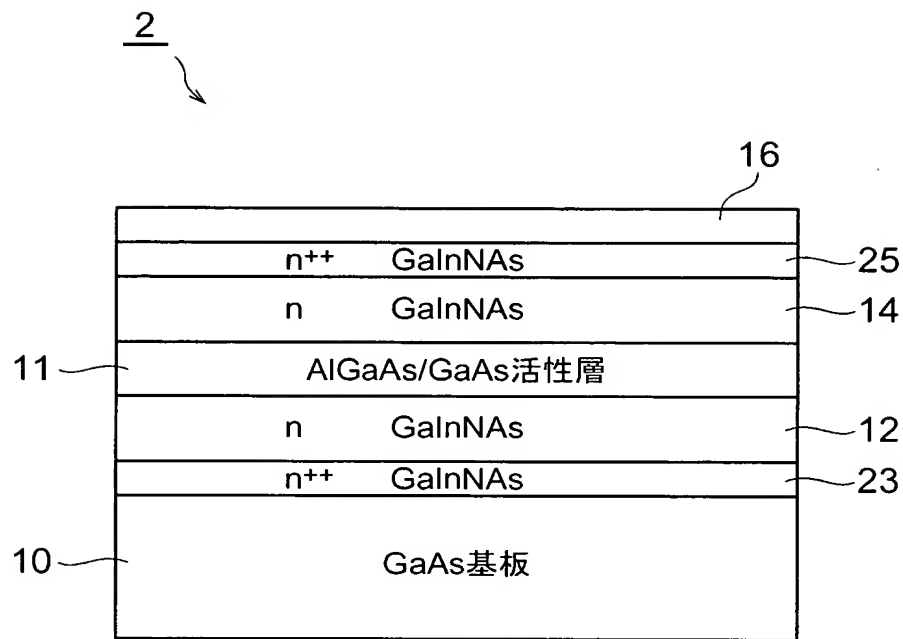
【図 2】



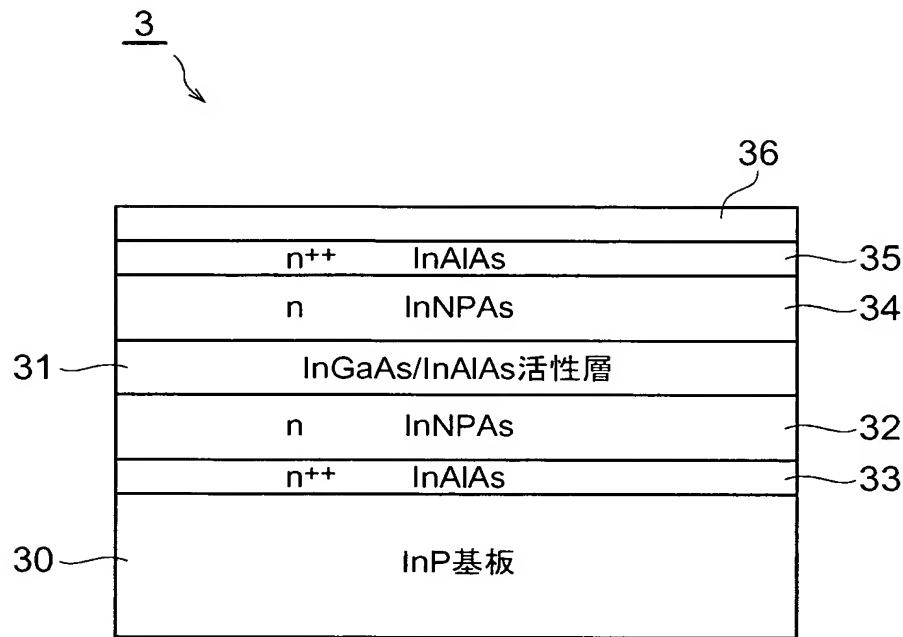
【図 3】



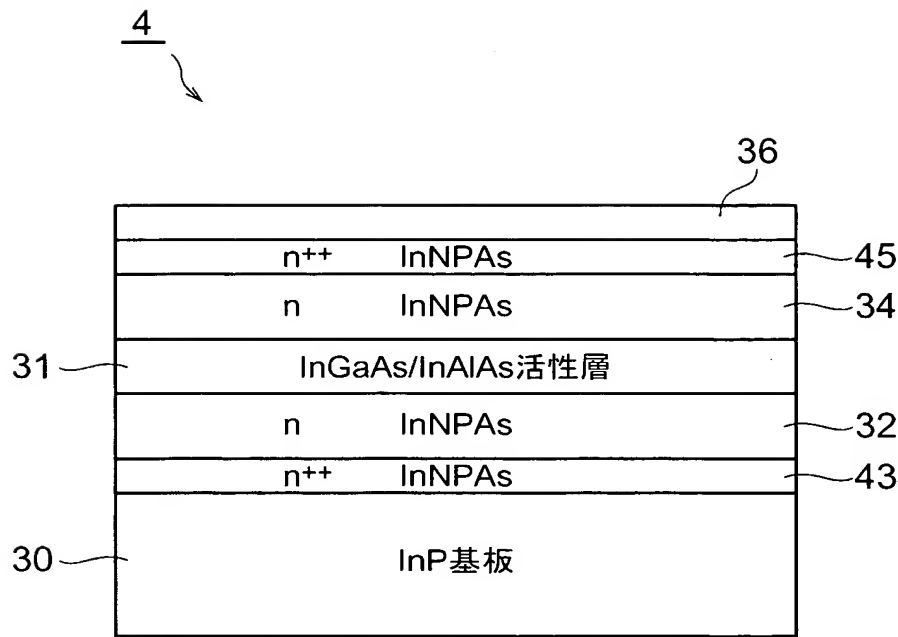
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 生成された光に対するレーザ内での導波路損失が低減される量子カスケードレーザを提供する。

【解決手段】 GaAs 基板 10 上に、量子井戸発光層及び注入層が交互に積層されたカスケード構造を有する AlGaAs/GaAs 活性層 11 を形成して、量子井戸構造でのサブバンド間遷移を利用して赤外光などの所定波長の光を生成する量子カスケードレーザ 1 を構成する。また、活性層 11 の GaAs 基板 10 側、及び GaAs 基板 10 の反対側に、N（窒素）を含む III-V 族化合物半導体である n 型の GaInNAs 層からなり GaAs 基板 10 と格子整合する導波路コア層 12、14 と、n<sup>++</sup>型の GaAs 層からなる導波路クラッド層 13、15 とから構成される導波路構造を設ける。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 3 5 3 6 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 2 3 6 4 3 6 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1

氏 名

浜松ホトニクス株式会社